

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
TEKSTILNO-TEHNOLOŠKI FAKULTET

ZAVRŠNI RAD

**SORPCIJSKA SVOJSTVA DOMAĆE
VUNE**

KATARINA FISTRIĆ

Zagreb, rujan 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
TEKSTILNO-TEHNOLOŠKI FAKULTET
Zavod za materijale, vlakna i ispitivanje tekstila

ZAVRŠNI RAD

SORPCIJSKA SVOJSTVA DOMAĆE VUNE

Mentor

Prof. dr. sc. Edita Vujasinović

Izradila:

Katarina Fistrić

Broj indeksa: 9428/TMD

Zagreb, rujan 2017.

Zavod u kojem je rad izrađen: Zavod za materijale, vlakna i ispitivanje tekstila
Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet

Mentor: Prof. dr. sc. Edita Vujasinović

Broj stranica: 31

Broj tablica: 6

Broj slika: 22

Broj literaturnih izvori: 31

Povjerenstvo za obranu: Izv.prof.dr.sc. Branka Vojnović, predsjednik
Prof. dr. sc. Edita Vujasinović, član
Izv.prof.art. Andrea Pavetić, član
Doc.dr.sc. Maja Somogyi Škoc, zamjenik člana

Datum obrane: 18.09.2017.

SAŽETAK

Za grubu vunu karakteristično je da se unutar istog uzorka vlakana nalaze vlakna različite finoće i građe (vlakna s medulom i bez) što može dovesti do razlika u sposobnosti upijanja i otpuštanja vlage. Kroz ovaj rad pokušat će se utvrditi da li postoje i kolike su razlike prilikom apsorpcije vlage različitih tipova vlakana izdvojenih iz uzorka domaće vune. U svezi s time provedena su istraživanja kvalitetnih karakteristika vunениh vlakna te njihova sorpcijska svojstva pri različitim relativnim vlažnostima zraka.

KLJUČNE RIJEČI: domaća vuna, gruba vuna, kvaliteta vune, sorpcijska svojstva

SADRŽAJ:

1.	UVOD	1
2.	TEORIJSKI DIO	2
2.1.	Vuna – čudesno vlakno	2
2.1.1.	Građa vunenog vlakna	2
2.1.2.	Svojstva vunenih vlakana	6
2.2.	Sorpcijska svojstva vunenih vlakana	8
3.	EKSPERIMENTALNI DIO	11
3.1.	Cilj i svrha istraživanja	11
3.2.	Metodika istraživanja	11
3.3.	Priprema uzoraka za ispitivanje	12
3.4.	Metode i postupci ispitivanja	12
4.	REZULTATI I RASPRAVA	17
4.1.	Finoća vune	17
4.2.	Medulacija vune	19
4.3.	Duljina vune	20
4.4.	Sorpcijska svojstva domaće vune	22
4.5.	Korelacije dobivenih rezultata	26
5.	ZAKLJUČAK	28
6.	LITERATURA	29

1. UVOD

Upotreba vune kao tekstilne sirovine seže daleko u prošlost što dokazuju brojni arheološki nalazi. Smatra se da priča o vuni započinje u Aziji tijekom kamenog doba još od prije 10 000 godina kada je primitivni čovjek ovcu koristio radi izvora hrane (mlijeko i meso) te za zaštitu od hladnoće (krzno), a umijeće prerade vune u tekstilne proizvode razvilo se u Babilonu 4 000 godina pr.n.e. od kuda se postupno širilo u Europu. Danas vuna, zbog svojih specifičnih svojstava, u nekim zemljama predstavlja najznačajniji ovčji proizvod [1, 2].

Iz prošlosti je poznato kako su Tuarezi¹, tzv. „plavi ljudi Sahare“, pretežito muškarci, bili odjeveni u tradicionalnu pamučnu i vunenu odjeću i turbane koje su bojali upadljivom i prepoznatljivom plavom indigo bojom. S obzirom na područje na kojima su obitavali, odjeća nije imala samo estetsku funkciju već je služila kao sredstvo zaštite tijela od štetnih vanjski utjecaja (hladnoća, kiša, vlaga i vrućina). Nošenje vunene odjeće omogućavalo je utopljanje tijekom vrlo hladnih noći, ali i zaštitu od visokih temperatura tokom dana. Razlog tome su dobra termoizolacijska svojstva vunenog vlakna koja omogućavaju zadržavanje zraka u prostorima između vlakana. Također, vunena vlakna su veoma higroskopna te imaju veliku sposobnost upijanja i zadržavanja vode što omogućava da odjeća od takvih vlakana tijekom visokih temperatura upija znoj, a toplinu odvodi od tijela, dok za vrijeme niskih temperatura omogućava razvijanje dodatne topline upijanjem vlage [3 - 5]. Izražena sorpcijska svojstva prvenstveno su posljedica složene građe vunenih vlakana. Međutim, u složenijim tekstilnim strukturama (pramen, pređa, tkanina i sl.) sorpcijska svojstva određuje vrsta vunenih vlakana i morfologija.

Za grubu vunu (vunu čiji je prosječni promjer veći od 30 μm) karakteristično je da se unutar istog uzorka vlakana nalaze vlakna različite finoće, ali i strukture (npr. vlakna s medulom i bez nje ili osjasta vlakna) što može dovesti do razlika u sposobnosti upijanja i otpuštanja vlage, te stoga i do odstupanja od uvriježenih vrijednosti koje se navode u normama ili literaturi [6]. U ovom radu istražena su sorpcijska svojstva vlakana različitih finoća, a koja su prisutna u uzorku grube domaće vune – vune pramenke.

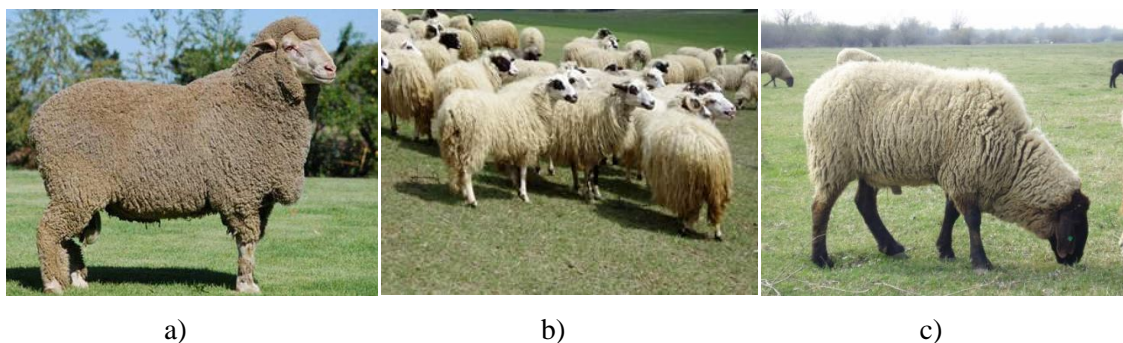
¹ nomadski narod iz autohtone etničke skupine Berbera nastanjenih u saharskom području sjeverne Afrike [3]

2. TEORIJSKI DIO

2.1. Vuna – čudesno vlakno

Vuna predstavlja prirodno tekstilno vlakno koje se dobiva iz runa različitih vrsta ovaca kojih ima preko 200 različitih pasmina [6]. Smatra se jednim od najčešće korištenih životinjskih vlakna u tekstilnoj industriji, a ujedno predstavlja obnovljivu i održivu tekstilnu sirovinu. Čak i danas u suvremeno doba teško je sintetizirati materijal sličan vunanim vlaknima koji bi imao dobru sposobnost upijanja/otpuštanja vlage uz odličnu sposobnost termoizolacije [7].

Najfinija vunena vlakna, od kojih se proizvode najkvalitetniji vuneni materijali dobivaju se od merino ovce koja je najraširenija u Australiji (sl. 1.a). Hrvatske, domaće pasmine ovaca su pramenka (sl. 1.b) i cigaja (sl. 1.c) i one daju relativno grubu vunu koja je prikladnija za rukotvorstvo i tehnički tekstil [6].



Slika 1: Pasmine ovaca: a) merino ovca [8]; b) stado domaće pramenke [9]; c) cigaja [10]

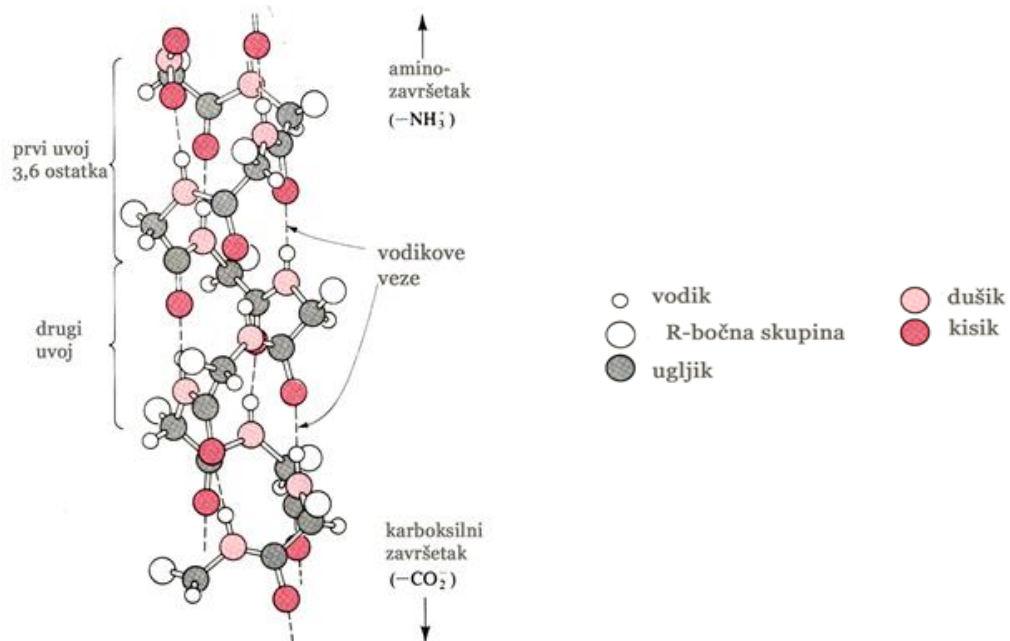
2.1.1. Građa vunenog vlakna

Vuna je građena najvećim dijelom od bjelančevine keratin (80% mase) koju izgrađuju različite aminokiseline prikazane u tablici 1. Osim keratina, vuna sadrži i 17% nekeratinskih proteina, 1,5% makromolekularnih spojeva (polisaharidi, nukleinske kiseline) i 1,5% niskomolekularnih tvari (lipidi i anorganski spojevi) [6, 11].

Tablica 1: Aminokiseline u proteinu vune [6]

Vrsta aminokiseline	Ime aminokiseline	Struktura organskog ostatka	Koncentracija [$\mu\text{mol/g}$]
Aminokiseline bez reaktivnih skupina	glicin	$-\text{H}$	760
	alanin	$-\text{CH}_3$	470
	valin	$-\text{C} \begin{array}{l} \text{CH}_3 \\ \text{H} \text{ } \text{CH}_3 \end{array}$	490
	leucin	$-\text{CH}_2-\text{C} \begin{array}{l} \text{CH}_3 \\ \text{H} \text{ } \text{CH}_3 \end{array}$	680
	izoleucin	$-\text{CH}_2-\text{C} \begin{array}{l} \text{CH}_3 \\ \text{H} \text{ } \text{CH}_2-\text{CH}_3 \end{array}$	270
	fenilalanin	$-\text{CH}_2-\text{C}_6\text{H}_5$	260
	prolin	$\begin{array}{l} -\text{CH}_2- \\ -\text{CH}_2- \end{array} \text{CH}_2$	520
Aminokiseline s hidroksilnim skupinama	serin	$-\text{CH}_2\text{OH}$	900
	treonin	$-\text{CH} \begin{array}{l} \text{OH} \\ \text{CH}_3 \end{array}$	570
	tirozin	$-\text{CH}_2-\text{C}_6\text{H}_4-\text{OH}$	350
"Kisele" aminokiseline i njihovi amidi	aspartinska kiselina	$-\text{CH}_2-\text{C}(=\text{O})-\text{OH}$	200
	glutaminska kiselina	$-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{C}(=\text{O})-\text{OH}$	600
	aspartin	$-\text{CH}_2-\text{CONH}_2$	360
	glutamin	$-(\text{CH}_2)_2-\text{CONH}_2$	450
"Bazične" aminokiseline (slobodne i kao amidi)	arginin	$(\text{CH}_2)_3-\text{NH}-\text{C}(\text{NH}_2)=\text{NH}$	600
	lizin	$-(\text{CH}_2)_4-\text{NH}_2$	250
	hidroksilizin	$-(\text{CH}_2)_2-\text{CH}(\text{OH})-\text{CH}_2-\text{NH}_2$	60
	histidin	$-\text{CH}_2-\text{C} \begin{array}{l} \text{H} \text{ } \text{H} \\ \text{N} - \text{C} \\ \text{H} \text{ } \text{N} \end{array}$	80

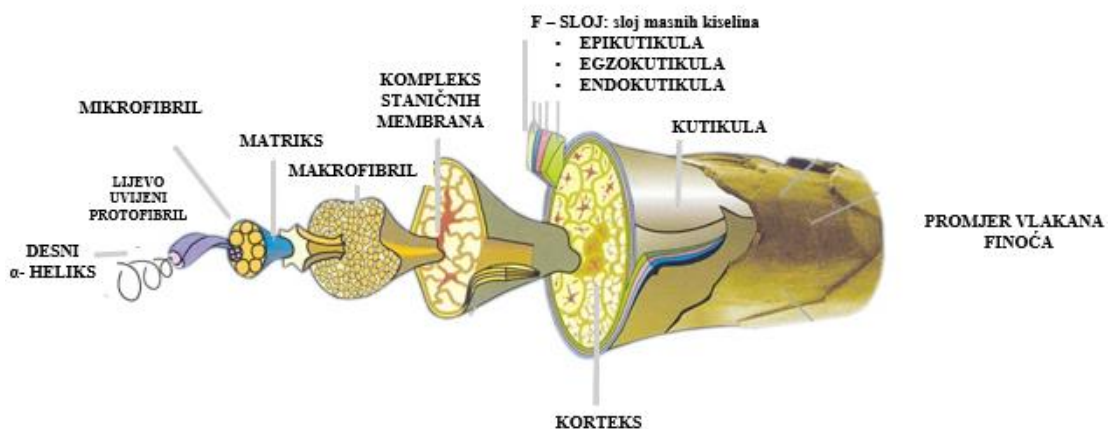
Aminokiseline keratina izgrađuju duge polipeptidne lance ili tzv. α -heliks (sl. 2).



Slika 2: Struktura α -heliksa [6]

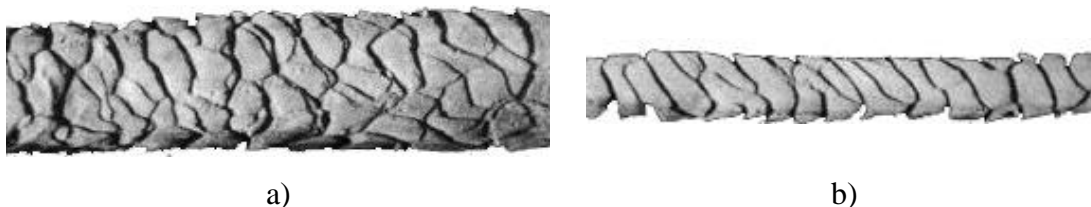
Morfološka građa vunenog vlakna (sl. 3) je veoma karakteristična. Strukturno gledano kod vunenog vlakna mogu se razlikovati dva (kod finih vuna) odnosno tri (kod grubih vuna) osnovna dijela [6]:

- kutikula (*lat. cuticula*) ili ljuskavi pokrov (vanjski omotač),
- korteks (*lat. corteks*) koji je glavni dio vlakna ili jezgra vlakna, te
- srž ili medula odnosno središnji dio vlakna koja je karakteristična za grublja vunena vlakna.



Slika 3: Morfološka građa vunenog vlakna [4]

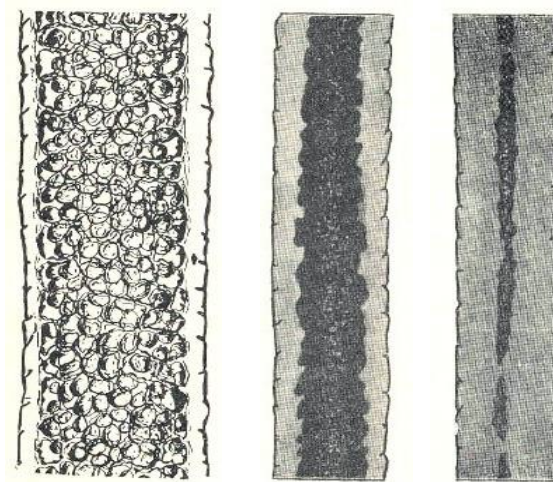
Kutikula je vanjski omotač izgrađen od stanica ljuskavog izgleda. Ovisno o finoći vlakana ovisit će oblik, veličina i način slaganja ljusaka duž vlakna (sl. 4). Finija vlakna (npr. merino vuna) imati će i do tri puta više ljusaka nego grublja vlakna. Kod finih vlakana vune ljuske imaju prstenastu strukturu i naliježu jedna na drugu prekrivajući se pritom do 2/3 duljine, dok preostali dio ljuske pomalo strši od vlakana. Grublja vuna ima ljuske više pločastog oblika i po obujmu vlakana nalazi se nekoliko ljusaka, a krajevi ljusaka manje strše od vlakna [6, 12]. Kutikula štiti vuneno vlakno od vanjskih utjecaja te uvjetuje mnoga osnovna svojstva vune poput opipa, izgleda i kvasivosti, a na nju otpada približno 10% mase vunenog vlakna [13]. Ljuske nemaju fibrilarnu strukturu i sastoje se od endokutikule tj. unutarnjeg sloja, egzokutikula tj. glatkog vanjskog sloja i epikutikule odnosno tanke kože koja pokriva i obavija stanice ljusaka, a odlikuje se kemijskom otpornošću [14].



Slika 4: Izgled ljusaka: a) gruba vuna; b) fina vuna

Korteks se sastoji od gusto složenih vretenastih stanica i zauzima 90% vunenog vlakna [14]. Vretenaste stanice nisu jedinstvene po građi i svojstvima. Razlikuju se dvije vrste stanica i to bazofilne i acidofilne stanice koje se još nazivaju orto-korteks odnosno para-korteks, a njihov poredak je različit ovisno o vrsti vlakna. Stanice para-korteksa imaju veću količinu sumpora, jaču međumolukularnu povezanost i zbijeniju strukturu u odnosu na stanice orto-korteksa. Iz tog razloga stanice para-korteksa slabije upijaju vlagu, teže vežu bojila i imaju manju reaktivnost prema kemikalijama. S obzirom da korteks čini glavninu vlakna o njemu će u najvećoj mjeri ovisiti kemijska, ali i fizikalna svojstva vunenog vlakna [6, 11].

Medula (sl. 5) je kanal koji se proteže središtem vlakna unutar korteksa i karakteristična je za gruba vlakna. Fina vunena vlakna nemaju medulu. Medula sadrži stanične ostatke i zrak u kontinuiranim ili diskontinuiranom obliku uzduž vlakna [11].



Slika 5: Tipovi medule u gruboj vuni [6]

2.1.2. Svojstva vunenih vlakana

Vuna se odlikuje vrlo specifičnim svojstvima koja su rezultat njezine građe te ju s razlogom možemo smatrati čudesnim vlaknom. Valja naglasiti da će svojstva vunenih vlakana prvenstveno biti određena pasminom ovce, spolom, godinama starosti ovce od koje se vuna dobiva, dijelom tijela s kojeg vuna potječe, ishranom, te geografsko-klimatskim uvjetima (temperatura, klima, vlaga) u kojem raste vlakno. Međutim, runo s jedne ovce nema na svim dijelovima životinje istu kvalitetu vlakana [15, 16].

Nekada su se kvalitetne osobine vunenog vlakna iskazivale finoćom, duljinom i kovrčavošću te su se ta svojstva smatrala smjericama prilikom određivanja upotrebljivosti vune [17]. Finoća se smatrala najvažnijim svojstvom prema kojem se vršilo vrednovanje vune na tržištu, a klasiranje se provodilo na temelju organoleptičke ocjene klasera koji su procjenjivali finoću i čistoću vlakana. Danas, kako bi se mogla sigurnije procijeniti kvaliteta vunenih vlakana, uveden je sustav objektivnog mjerenja i vrednovanja kvalitetnih karakteristika finijih i grubljih vuna prema kojemu se mogu pouzdano procijeniti sva ona svojstva (finoća, medulacija, duljina nakon grebanja, boja, voluminoznost, sadržaj biljnih primjesa) koja su relevantna za kvalitetu i formiranje cijene vune na tržištu [16, 18].

Pod finoćom vune podrazumijeva se srednja prosječna debljina vlakana izražena u mikrometrima [μm] ili masa sadržana u određenoj duljini vlakna ($1000\text{ m} \Rightarrow \text{tex}$). Ovisno

o srednjem promjeru, vunena vlakna mogu se razvrstati na: vrlo fina vlakna (promjer od 15 do 17 μm), fina vlakna (promjer od 18 do 23 μm), vlakna srednje finoće (promjer od 24 do 34 μm), gruba vlakna (promjer iznad 36 μm) i vrlo gruba vlakna (promjer iznad 45 μm). Finoća je osobito važno svojstvo prema kojem se određuje i finoća pređe koja se može dobiti iz vlakana, a utječe i na mehanička svojstva vlakana [6, 19].

Duljina vunениh vlakana nalazi se u širokom području i ovisi o nizu čimbenika poput pasmine ovaca i podneblja u kojem se vlakno dobiva. Za grublju vunu karakteristično je da je dulja od fine vune izrasle u istom vremenskom razdoblju. Duljina vlakna će utjecati na karakter ispredene pređe tj. postignutu finoću, čvrstoću i istezanje pa je kao takva od presudnog značenja za ponašanje vlakana u daljnjoj preradi [6, 18].

Jedno od svojstava vunениh vlakana, koje osim keratinskih vlakana nema niti jedno drugo prirodno vlakno, je kovrčavost. Kovrče su uvjetovane bilateralnom građom korteksa koju nije moguće izmijeniti i zbog toga su kovrče trajne, trodimenzionalne, spiralnog ili sinusoidnog oblika. Što je vuna finija, broj kovrča po jedinici duljine je veći te se kreće u rasponu od 14 kovrča/cm kod vrlo kovrčave merino vune, do 1 kovrče/cm kod grube vune. Općenito se pokazalo da kovrčavost značajno pridonosi lakšoj preradivosti vlakana jer pospješuje kohezivnost između vlakana, a gotovi proizvodi biti će voluminozniji i imati će dobra izolacijska svojstva [6].

Čvrstoća vune, u usporedbi s drugim vlaknima je mala i kreće se u rasponu od 1 do 2 cN/dtex, a u mokrom stanju čvrstoća dodatno opada. Međutim, čvrstoća je u uskoj vezi s istezljivošću vunениh vlakana tj. svojstvom da se ona pri djelovanju vlačne sile, više ili manje isteže. Ova karakteristika vunениh vlakana rezultat je specifične građe vlakana, a ovisna je o temperaturi i relativnoj vlažnosti zraka. Ovisno o kvaliteti, vuneno vlakno može se istegnuti za 25-30%, a zagrijavanjem vrućom vodom ili parom taj iznos povećava se na 50%, osobito kod finijih vuna. Nadalje, vunena vlakana ističu se i velikom elastičnošću odnosno sposobnošću da se nakon djelovanja vlačne sile vlakna vrate u svoj prvobitan položaj [6, 20].

Vunena vlakna i proizvodi od njih odlikuju se i dobrim izolacijskim svojstvima. Vuna, zbog svoje unutrašnje građe ima sposobnost za vrijeme niskih temperatura apsorbirati vlagu iz zraka, što kao egzoterman proces omogućuje razvijanje topline, a samim time i

zagrijavanje. Također, kod visokih temperatura i suhog zraka, oslobađanjem vlage iz vlakana osigurava se hlađenje. Iz tih razloga je vunene proizvode moguće nositi i ljeti i zimi, a ujedno omogućavaju dobru termofiziološku udobnost tokom nošenja. Dobra izolacijska svojstva vune dodatno su posljedica kovrčavosti i ljuskave površine vlakana koje tekstilijama od vune omogućavaju zadržavanje zraka u malenim prostorima među vlaknima [15, 21].

Za vunena vlakana karakteristično svojstvo je i pustenje. Do pustenja vune dolazi ukoliko se vuna u vodenoj sredini izloži mehaničkoj obradi. Tada se vlakna isprepliću i dobiva se pust tj. vlaknasta tvorevina u kojoj su vlakna čvrsto povezana. Na ovo svojstvo utječu kovrčavost, duljina, promjer, ljuskava struktura površine samog vlakna, njegova elastičnost i unutarnja strukturna građa vlakna, a više je izraženije kod fine vune zbog većeg preklapanja ljusaka te veće kovrčavosti i savitljivosti vlakana [22].

2.2. Sorpcijska svojstva vunениh vlakana

Molekule vode iz zraka mogu se adsorbirati na površinu vlakna i dalje prodirati u njegovu unutrašnjost što se naziva apsorpcija odnosno upijanje vlage. Proces apsorpcije će se odvijati ako se u prostor s vlažnim zrakom unese suho vlakno, a obrnuto, vlažno ili mokro vlakno otpuštati će molekule vode u prostor koji ga okružuje i pritom se suši. Takav se proces naziva desorpcija odnosno otpuštanje vlage. Tijekom vremena uspostavlja se dinamička ravnoteža s obzirom na količinu vlage u vlaknu i zraku koji okružuje vlakno. Krivulje koje pokazuju ravnotežnu vlagu u vlaknu koja se uspostavi u prostoru konstantne temperature zraka nazivaju se sorpcijske izoterme. Pritom, krivulja koja prikazuje ravnotežnu vlagu u vlaknu uspostavljenu procesom upijanja vlage naziva se apsorpcijska izoterma, a krivulja koja se odnosi na tijek uspostave ravnotežnog stanja putem otpuštanja vlage s vlakna naziva se desorpcijska izoterma [6].

Svojstvo apsorpcije odnosno upijanja vlage veoma je korisna osobina tekstilnih vlakana i materijala koji se upotrebljavaju za izradu odjeće. Materijali koji dobro upijaju vlagu ne samo da pomažu u održavanju čovjekove kože suhom, nego apsorpcija vodene pare uzrokuje da tekstilni materijali djeluju kao rezervoari topline, štiteći tijelo od naglih promjena vanjskih uvjeta [23].

Sposobnost upijanja i zadržavanja vlage u vlaknima ovisit će o kemijskoj građi vlakana odnosno prisutnosti hidrofilnih skupina u lancu molekula kao i o dostupnosti tih skupina molekulama vode. Osim navedenog na sposobnost upijanja vlage utječe i nadmolekularna građa vlakana odnosno prostorna uređenost makromolekula u vlaknu, morfološke karakteristike vlakana te geometrija vlakna [24].

Vunena vlakna odlikuju se velikom sorpcijskom sposobnošću ponajprije vlage, vode, bojila te raznih drugih tekućina i plinova. Sorpcija je kod vune kao i kod drugih tekstilnih vlakana fizikalna pojava, a zadržavanje vlage u vlaknima može imati fizikalne i kemijske uzroke. Fizikalni čimbenici se mogu objasniti kapilarnom aktivnošću međumolekularnih dijelova vlakna te specifičnošću morfološke građe vune, a kemijski čimbenici se objašnjavaju aktivnošću hidrofilnih skupina u vlaknu koje imaju sposobnost vezivanja molekula vode [6, 25].

Hidrofilne skupine prisutne u vunenom vlaknu tj. u molekulama prirodnih proteina s afinitetom za molekule vode su $-OH$, $-NH_2$, $-COOH$, $-CO-O-$ i $-CO-NH-$. Ove skupine, u područjima gdje su lanci keratinskih molekula blizu, stvaraju međusobno poprečne veze, čime učvršćuju strukturu odnosno tvore područja visokog stupnja uređenosti koja se nazivaju kristalna područja. U takvim područjima pristup molekulama vode je otežan unatoč prisutnosti hidrofilnih skupina. Područja u kojima ne postoji takav raspored makromolekula odnosno u kojima nema takve sredećenosti (tzv. amorfnim područjima), prodor molekulama vode je puno lakši jer su hidrofilne skupine slobodne i time pristupačnije za vezanje molekula vode. Stoga će se i pri prodoru molekula vode u vlakno one najprije vezati za slobodne hidrofilne skupine u amorfnim područjima. Vezivanjem molekula vode od strane slobodnih hidrofilnih skupina u vlaknu u jednom trenutku doći će do zasićenja i višak molekula vode dovest će do razmicanja dijelova keratina u amorfnim područjima uslijed čega dolazi do strukturnih promjena i povećanja volumena vlakna odnosno bubrenja. Bubrenje je više izraženo u poprečnom smjeru odnosno u smjeru okomitom na uzdužnu os vlakna i zato se bubrenje primarno očituje kao promjena poprečnog presjeka vlakana [15, 25].

Kinetika upijanja i prodora molekula vode u vlakno odvija se u tri faze. Prva faza podrazumijeva vezanje molekula vode na površinu vlakna i prodor prvih molekula kroz površinu vlakana. Zatim se molekule vode smještaju unutar vlakna i vežu za slobodne

aktivne skupine. Ovaj proces ide relativno brzo i dolazi do bubrenja vlakana. U ovoj fazi zamjećuje se i povećanje mase. Treća faza podrazumijeva dodatno smještanje molekula vode na slobodnim mjestima. Ovaj proces je dugotrajan i može trajati satima, ponekad i danima. Proces traje sve do uspostave dinamičke ravnoteže što podrazumijeva jednak broj molekula vode koje ulaze i izlaze iz vlakna. Da bi se uspostavila ravnoteža sorpcije molekula vode u vunenom vlaknu obično je potrebno više od dva tjedna. Na kraju se postiže ravnoteža koja je dinamička, što znači da se interakcija vlakna i prostora u smislu izmjene molekula vode odvija i dalje u oba smjera, uz zadržavanje razine ravnotežne vlage u vlaknu [6, 26].

Vuneno vlakno u standardnoj atmosferi (R_H $65\pm 4\%$ i T $20\pm 2^\circ\text{C}$) upija 13,5 do 16,5% vlage, a sposobnost zadržavanja vode je velika i iznosi 40 do 45% [6]. Svaka promjena relativne vlažnosti zraka izazvat će i promjenu u sadržaju vlage u vlaknima što će osim promjena dimenzije vlakana dovesti i do promjena mehaničkih svojstava, električnih svojstava, a utjecat će i na mogućnost njihove preradbe u pređu i druge tekstilije. Sorpcijska svojstva su vrlo važna svojstva koja doprinose udobnosti odjeće prilikom nošenja. Poznavanje sorpcijskih svojstava vunениh vlakana vrlo je bitno prilikom određivanja buduće primjene tekstilnih proizvoda [6, 26].

3. EKSPERIMENTALNI DIO

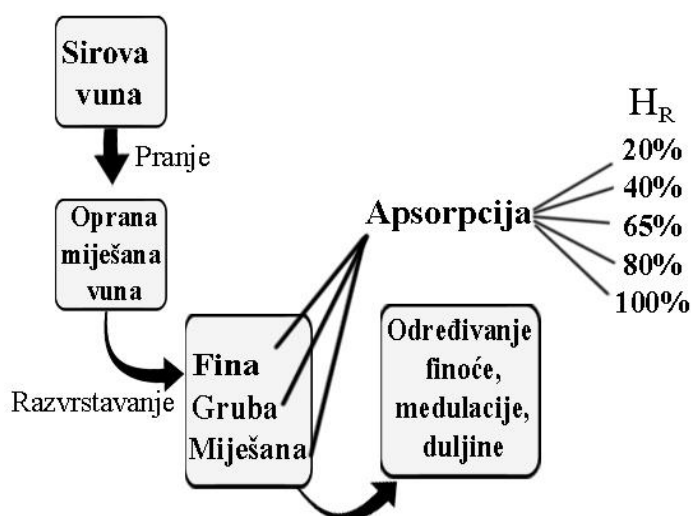
3.1. Cilj i svrha istraživanja

Vunena vlakna zbog svoje specifične građe i velikog broja hidrofilnih skupina imaju izuzetno dobru sposobnost upijanja vodene pare i vode. Vuna domaćih ovaca ubraja se u srednje finu/grubu vunu za koju je karakteristično da promjer pojedinih vlakana u istom uzorku značajno varira [16]. Zbog određenih razlika u strukturi, vlakna različitog promjera, imati će i ponešto različita sorpcijska svojstva. Stoga je cilj i svrha ovog rada utvrditi da li postoje i kolike su razlike prilikom apsorpcije vlage različitih kategorija vune prisutnih u uzorku domaće grube vune.

3.2. Metodika istraživanja

S obzirom na cilj i svrhu, istraživanja u okviru ovog rada podijeljena su u dvije cjeline (sl. 6):

- određivanje kvalitetnih karakteristika vune, i
- određivanje kinetike upijanja (apsorpcije) vlage pri različitim relativnim vlažnostima.



Slika 6: Plan eksperimenta

3.3. Priprema uzoraka za ispitivanje

Ispitivanja su provedena na uzorku domaće vune koja je oprana klasičnim postupkom pranja kako bi se uklonile nečistoće iz sirove vune te kako bi se oslobodila vanjska površina vlakana, čime vuna postaje hidrofilna. Pranje je provedeno simulacijom industrijskog postupka pranja u levijatanim. Pranje u levijatanim najčešće se odvija u 5 kada uz protustrujno strujanje vode i u otopinama blagih sredstava za pranje. Kao sredstvo za pranje upotrijebljen je Nonionik SVN. To je neionogeno sredstvo na bazi smjese poliglikoletera. Ovo sredstvo, zbog izuzetnih svojstava dispergiranja, emulgiranja i omekšavanja vlakana omogućava efikasno pranje sirove vune tj. uklanjanje bioloških primjesa uz zaostajanje 0,5 do 1,5 % masnoća što tako opranu vunu čini pogodnom za daljnju preradu.

Nakon pranja, na temelju organoleptičke procjene napravljeno je ručno izdvajanje pojedinih kategorija vunenih vlakana. Prvu kategoriju čini tanja odnosno finija vuna (uzorak 1) koja vizualno izgleda kraće, vidljive su kovrče i na temelju njezinih makro karakteristika moguće ju je izdvojiti. Drugu kategoriju čini grublja vuna (uzorak 2), a vlakna u ovoj kategoriji su deblja, dulja i ravniya te nisu zamijećene kovrče. Ostatak čini vuna (uzorak 3) koja se vizualno nije mogla svrstati u niti jednu prethodno navedenu kategoriju.

3.4. Metode i postupci ispitivanja

Određivanje kvalitetnih karakteristika vune

U svrhu objektivnog opisivanja razvrstanih uzoraka domaće vune, napravljena su sljedeća istraživanja kvalitetnih karakteristika:

- određivanje finoće vlakana,
- određivanje medulacije,
- određivanje duljine vlakna.

Određivanje finoće (prosječnog promjera) vlakana: Finoća odnosno promjer vlakana određen je mikroskopskom metodom (metoda projekcionog mikroskopa – ASTM D

2130-13 [27]) koja osim prosječnog promjera vlakana u uzorku omogućuje uvid u ujednačenost odnosno varijabilnost istog te je moguće odrediti tzv. klasu vune (ASTM D 3991-06 [28] i ASTM D 3992-06 [29]).

Za ispitivanje je potreban projekcioni mikroskop s dvije međusobno okomite mjerne skale i posebno izvedenim stolićem za mikroskopiranje koji omogućuje pokretanje mikroskopskog preparata naprijed natrag i zakretanje oko vlastite osi kako bi se svako vlakno dovelo u položaj okomit na jednu od skala da bi mu se mogao očitati promjer. Sva ispitivanja provedena su pomoću projekcionog mikroskopa tt. Zeiss – Lanameter (sl. 7) koji uz povećanje od 500x ima razmak od 2 μm između pojedinih podioka na skali. Način i postupak očitavanja propisan je u spomenutim normama.

Preparat se priprema tako da se vlakna pomoću mikrotoma odrežu na određenu duljinu (finija vlakna na 0,4 mm, a grublja na 0,8 mm). Sredstvo za pripravu preparata ne smije izazivati nikakve promjene dimenzija vlakna (npr. bubrenje), mora imati zadovoljavajuću viskoznost, te indeks loma približno jednak indeksu loma stakla ($n=1,48\pm0,005$ na 20 °C). Ove uvjete koji čine sistem optički homogenim i mjerljivim zadovoljava cedrovo ulje koje je korišteno u ovom radu.



Slika 7: Projekcioni mikroskop tt. Zeiss – Lanameter

Određivanje medulacije: Medulirana vlakna u uzorcima moguće je odrediti mikroskopskom metodom (ASTM D 2968-2013 [30]) kod koje se kao rezultat daje broj

tj. udio svih meduliranih vlakana u ukupnom broju vlakana izbrojenih u uzdužnoj mikroskopskoj slici preparata pri čemu se broje samo ona vlakna kod kojih je na mjestu očitavanja promjera na skali ekrana vidljiva i medula.

Provodeći ova mjerenja paralelno s mikroskopskim određivanjem promjera vlakana (što je učinjeno u ovom radu) moguće je, za vlakna s kontinuiranom medulom odrediti i udio medule u samom vlaknu, a prema tome i udio osjastih, tzv. „*kemp vlakana*“ (vlakna kod kojih je promjer medule veći od 60% promjera vlakna). Dodatno ova metoda omogućava uvid u raspodjelu širine medule i meduliranih vlakana te određivanje pojedinih vrsta medulacije (najčešće samo kontinuirana - neprekidna ili diskontinuirana – isprekidana) i njihovog udjela u ukupnom broju meduliranih ili svih vlakana.

Određivanje duljine vune: Duljina vlakana definira se kao najveći razmak između krajeva ispravljenog, ali neistegnuto vlakna i izražava se milimetrima (mm) ili centimetrima (cm). Većina metoda i postupaka određivanja duljine vlakana u skladu je s tom definicijom i zahtjevom. Za potrebe ovog rada duljina vunениh vlakana određena je metodom pojedinačnog mjerenja (HRN ISO 6989:2003 [31]).

Postupak mjerenja je sljedeći: paralelizirani snopić vlakana stavlja se na podlogu za mjerenje s milimetarskom dužinskom raspodjelom. Snopić vlakana prekrije se sa staklenom pločicom na način da s desne strane strše vrhovi vlakana. Desni rub stakalca namjesti se na odabranu oznaku na skali i lagano se pritisne na vlakna. Pomoću pincete uhvati se stršeći rub vlakna koje se potom izvlači sve dok drugi rub ne napusti staklenu pločicu kojom je snop vlakana prekriven. U tom trenutku ispravljeno vlakno se ponovno savije, izvlačenje se prekida i očita se duljina izvučenog vlakana u mm ili cm. Broj mjerenja mora biti toliki da nepouzdanost aritmetičke sredine (praktička granica pogreške) uz pouzdanost od 95% bude 5% ili manje [19].

Kinetika apsorpcije (upijanja) vlage ovisno o različitoj relativnoj vlažnosti zraka

Ako vlakna stavimo u prostore različite vlažnosti ona će apsorbirati različite količine vlage. Količina vlage u vlaknu, kao mjerilo sposobnosti upijanja vlage u nekim određenim uvjetima, izražava se kao količina vlage u odnosu na apsolutno suhu masu vlakana (repriza, R) i računa se prema izrazu (1) ili kao udio vlage u vlažnom uzorku vlakana (vlažnost, V) koji se računa prema izrazu (2) [6, 19].

$$R[\%] = \frac{m_{vlu} [g] - m_{asu} [g]}{m_{asu} [g]} \cdot 100 = \frac{m_v [g]}{m_{asu} [g]} \cdot 100 \quad (1)$$

$$V[\%] = \frac{m_{vlu} [g] - m_{asu} [g]}{m_{vlu} [g]} \cdot 100 = \frac{m_v [g]}{m_{vlu} [g]} \cdot 100 \quad (2)$$

Značenje pojedinih oznaka u oba izraza su sljedeći:

m_{vlu} - masa vlažnog uzorka, g

m_{asu} - masa apsolutno suhog uzorka, g

m_v - masa vlage u vlaknu, g

U svrhu određivanja kinetike apsorpcije vlage uzoraka vune pripremljeni su prostori (eksikatori) s različitim relativnim vlažnostima (H_R) zraka. Atmosfera za ispitivanje priprema se primjenom različitih koncentracija i gustoća sumporne kiseline (npr. za standardnu atmosferu za ispitivanje tj. $H_R = 65 \pm 4\%$ i $T = 20 \pm 2^\circ\text{C}$ ($c_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 35,9\%$ i $\rho_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 1,2680 \text{ g/cm}^3$). U tablici 2 prikazane su koncentracije H_2SO_4 koje su potrebne za dobivanje prostora s različitim relativnim vlažnostima.

Tablica 2: Prostori (eksikatori) s različitim relativnim vlažnostima

H_R [%]	Koncentracija H_2SO_4 [%]
20	57,7
40	48,0
65	35,9
80	27,1
100	0 (eksikator s vodom)

Ispitivanja su provedena na apsolutno suhim uzorcima koji su sušeni u sušioniku 48 h na 105°C , a u svrhu izračunavanja statističkih pokazatelja rađene su po tri paralelne probe. Kinetika upijanja određena je na način da su uzorci nakon određenih vremenskih razmaka izvađeni iz eksikatora (posudice u eksikatoru su otvorene kako bi vlakna povukla određenu količinu vlage). U trenutku vaganja posudice se zatvaraju kako bi uzorci ostali u zatečenom stanju. Važu se u prostoriji konstantne temperature i relativne vlažnosti (H_R

= $48 \pm 5\%$; $T = 25 \pm 2^\circ\text{C}$). Nakon vaganja, vraćaju su natrag u eksikatore s odgovarajućim relativnim vlažnostima. Vremenski razmaci (Δt) između pojedinih vaganja iznosili su: 5, 10, 20, 30, 45, 60, 120, 180, 1440, 1470, 1550 i 2880 (ukupno trajanje 48 h).

4. REZULTATI I RASPRAVA

4.1. Finoća vune

Kako bi se odredila kvaliteta, a samim time i moguća upotreba vune određen je promjer (debljina) vlakana pojedinih kategorija (fina/gruba/miješana) koje su određene na temelju organoleptičke procjene. Rezultati određivanja promjera vlakana prikazani su u tablici 3.

Tablica 3: Rezultati mikroskopske metode određivanja prosječnog promjera vunениh vlakana

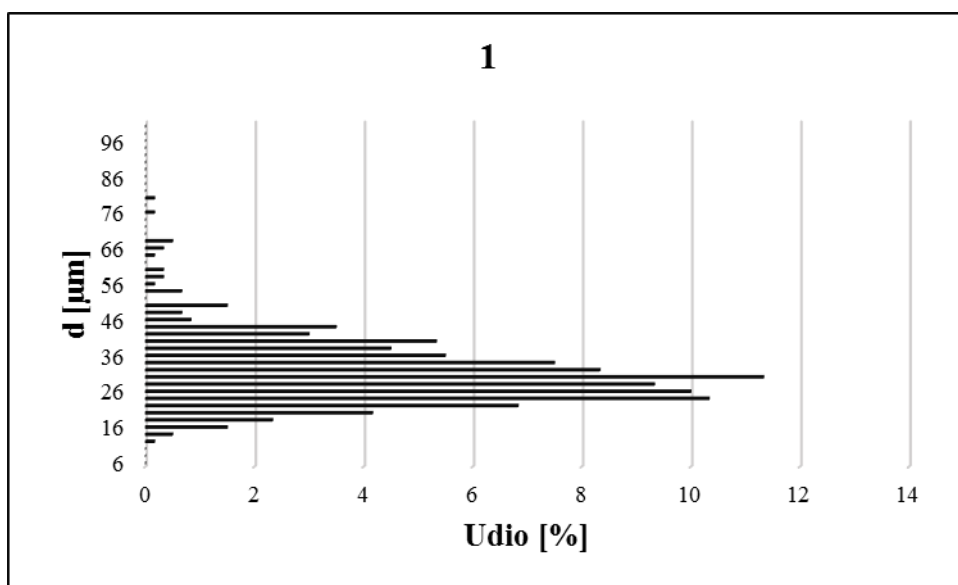
Uzorak vune	1	2	3
Broj mjerenja	600	600	600
Minimalni promjer vlakana [μm]	12	6	14
Maksimalni promjer vlakna [μm]	80	100	72
d_s [μm]	31,25	36,77	33,86
s [μm]	9,27	14,65	13,46
CV [%]	29,66	39,84	39,75
P_{gg} [μm]	$\pm 0,74$	$\pm 1,17$	$\pm 1,08$
ASTM klasa vune	50/44s	44/grublje od 36s	46/grublje od 36s
Finoća - T_t [tex]	1,01	1,40	1,19

Gdje je: d_s - prosječni promjer vlakana, s - standardna devijacija, CV- koeficijent varijacije, P_{gg} - praktična granica greške.

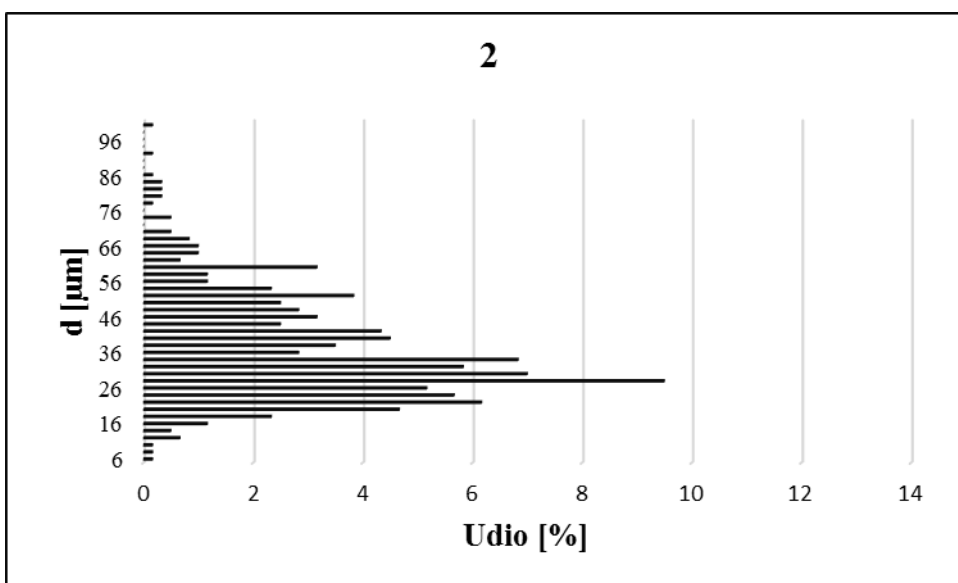
Iz dobivenih rezultata određivanja finoće ispitivanih uzoraka vune prikazanih u tablici 3 vidljivo je da je prosječan promjer vlakana kod sva tri uzorka vune veći od 30 μm što je karakteristično za grublje vrste vuna. Temeljem statističkih pokazatelja može se zaključiti kako je razvrstavanje na finiju (uzorak 1) i grublju (uzorak 2) vunu na temelju organoleptičke procjene provedeno uspješno, te kako među njima postoje signifikantne razlike.

S obzirom na zastupljenost pojedinih različitih promjera vlakana u ispitivanim uzorcima (sl. 8 – 10) ASTM klasa vune može se procijeniti kao 50/44s kod uzorka finije vune,

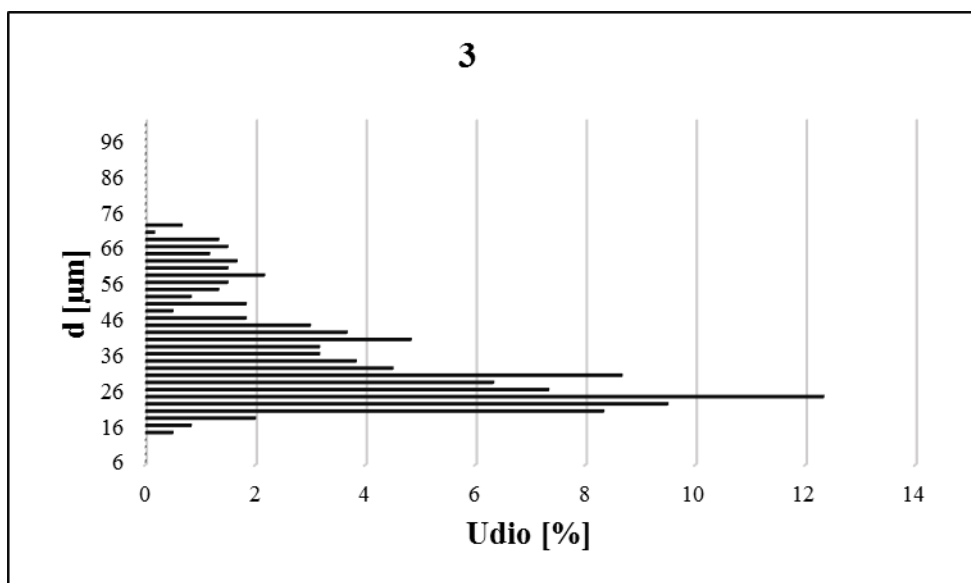
44/grublje od 36s kod uzorka grublje vune i 46/grublje od 36s kod uzorka koji se ne može svrstati ni pod finiju ni pod grublju vunu (miješana vuna). Razlog dvostrukih oznaka ASTM-klase pojedinih uzoraka (uzorci 1-3) je veliki udio vlakana promjera većeg od 60,1 μm i to kod uzorka 2 (6,6%) i uzorka 3 (6,2%), a kod uzorka 1 veći udio vlakana promjera većeg od 50,1 μm (2,9%).



Slika 8: Zastupljenost različitih vrijednosti promjera vlakana u uzorku 1



Slika 9: Zastupljenost različitih vrijednosti promjera vlakana u uzorku 2



Slika 10: Zastupljenost različitih vrijednosti promjera vlakana u uzorku 3

4.2. Medulacija vune

Pregled udjela meduliranih vlakana u ispitanim uzorcima razvrstane vune kao i nekih njihovih karakteristika prikazani su u tablici 4.

Tablica 4: Rezultati određivanja udjela i karakteristika meduliranih vlakana u vuni

Uzorak	n	M [%]	dM[%]	kM [%]	dm [μm]	OV[%]
1	600	0,7	75,0	25,0	72,5	0,0
2	600	5,0	40,0	60,0	62,0	0,3
3	600	3,5	47,6	52,4	56,8	0,2

Gdje je: *n*-broj mjerenja, *M*-udio meduliranih valakan u uzorku, *dM*-udio vlakna s diskontinuiranom medulom u ukupnom broju meduliranih vlakana, *kM*- udio vlakana s kontinuiranom medulom u ukupnom broju meduliranih vlakana, *dm*-prosječni promjer meduliranih vlakana, *OV*-udio osjastih (*kemp*) vlakana, vlakno kod kojih je širina medule > od 60 % širine vlakna.

Iz dobivenih rezultata određivanja medulacije ispitivanih uzoraka uočljivo je da najveći udio meduliranih vlakana prisutan u uzorku razvrstanom kao grublja vuna (5,0%) što je očekivano s obzirom da je medulacija karakteristična za grublja vunena vlakna. Nadalje, i u uzorku razvrstanom kao finija vuna prisutna su medulirana vlakana iako u malom

postotku (0,7%). Isto ne začuđuje pošto je razvrstavanje rađeno na temelju organoleptičke procjene stoga i nije bilo moguće u potpunosti odijeliti finija i grublja vlakna, te vlakna bez medule koja ljudskim okom nije vidljiva. U uzorcima 2 i 3 prevladavaju vlakna s kontinuiranom medulom za razliku od uzorka 1 u kojem je veća zastupljenost vlakana s diskontinuiranom medulom (75%). Osjasta vlakana prisutna su u uzorcima 2 i 3 iako njihov udio nije velik, dok ih u uzorku 1 nema. Općenito, može se zaključiti da se s porastom finoće vlakana smanjuje udio meduliranih vlakana u uzorku, te da finijim vunama nije svojstveno postojanje osjastih vlakana.

4.3. Duljina vune

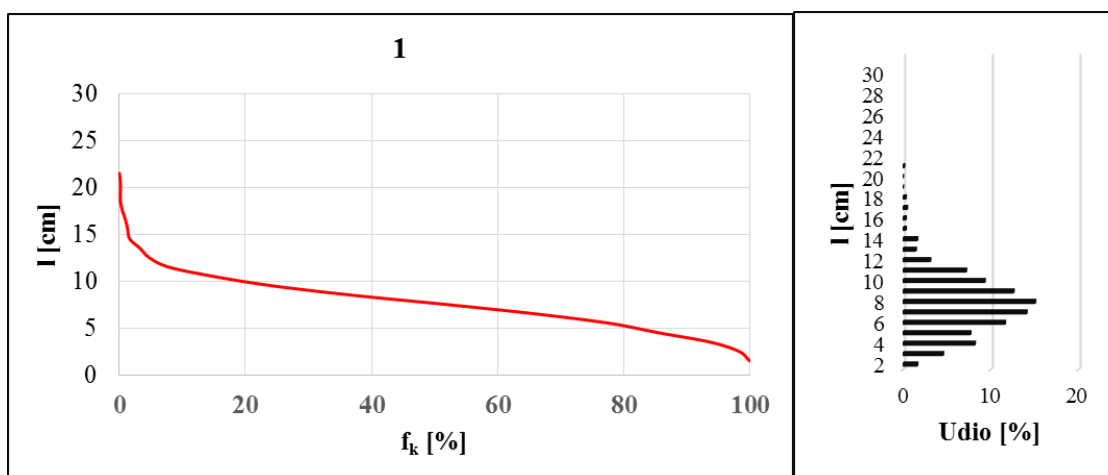
Rezultati određivanja duljine vunениh vlakana prikazani su u tablici 5.

Tablica 5: Rezultati određivanja duljina vunениh vlakana

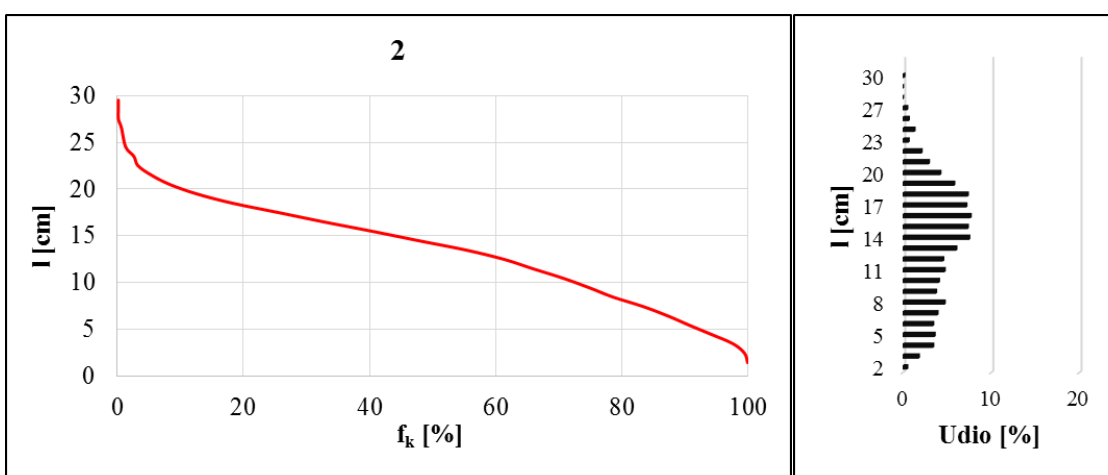
Uzorak	n	l_s [cm]	s [cm]	CV [%]	P_{gg} [cm]	$U_1 < 5$ cm [%]
1	610	7,29	2,59	35,53	$\pm 0,21$	22,13
2	612	13,05	4,67	35,79	$\pm 0,37$	9,31
3	610	8,40	3,70	44,05	$\pm 0,29$	27,22

Gdje je: n- broj mjerenja, l_s - prosječna dužina vlakana, s- standardna devijacija, CV- koeficijent varijacije, P_{gg} - praktična granica greške, U_1 - udio vlakana dužine manje od 5 cm.

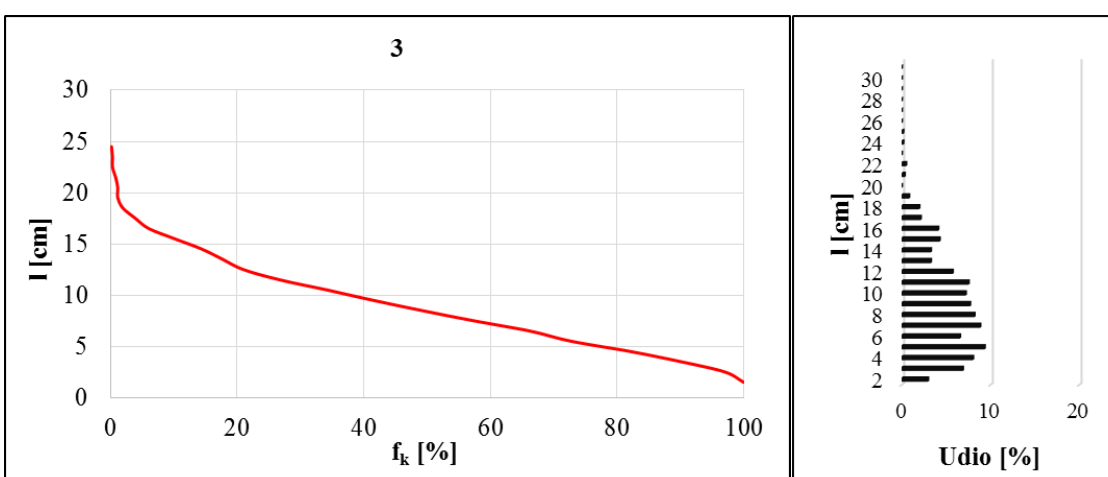
Duljina vunениh vlakana različita je kod različitih pasmina ovaca, ali veliki utjecaj na duljinu imati će i vremenski razmak između dva striženja. Međutim, općenito vrijedi da su grublje vune dulje od finih tj. tanjih vlakana izraslih u istom vremenskom razdoblju na istoj životinji, a isto se primjećuje i u rezultatima određivanja duljine razvrstanih uzoraka vunениh vlakana (tab. 5). Prosječna duljina uzorka grubljih vlakana (uzorak 2) je puno veća (1,8 puta) od one kod uzoraka finijih vlakana, dok je kod uzorka 3 (miješana vuna) prosječna duljina puno bliža duljini uzorka finije vune. U uzorcima 1 i 3 prisutan je i veliki udio vlakana kraćih od 5 cm ($> 20\%$), dok je u uzorku 2 on puno manji (9,31%). Heterogenost duljina i učestalost pojedinih duljinskih grupa ispitivanih uzoraka najbolje je vidljiva iz dijagrama prikazanih na slikama 11 – 13 iz kojih je lako zaključiti kako je u uzorku 1 prisutna veća homogenost duljina za razliku od uzoraka 2 i 3.



Slika 11: Zastupljenost pojedinih duljinskih grupa u uzorku 1



Slika 12: Zastupljenost pojedinih duljinskih grupa u uzorku 2



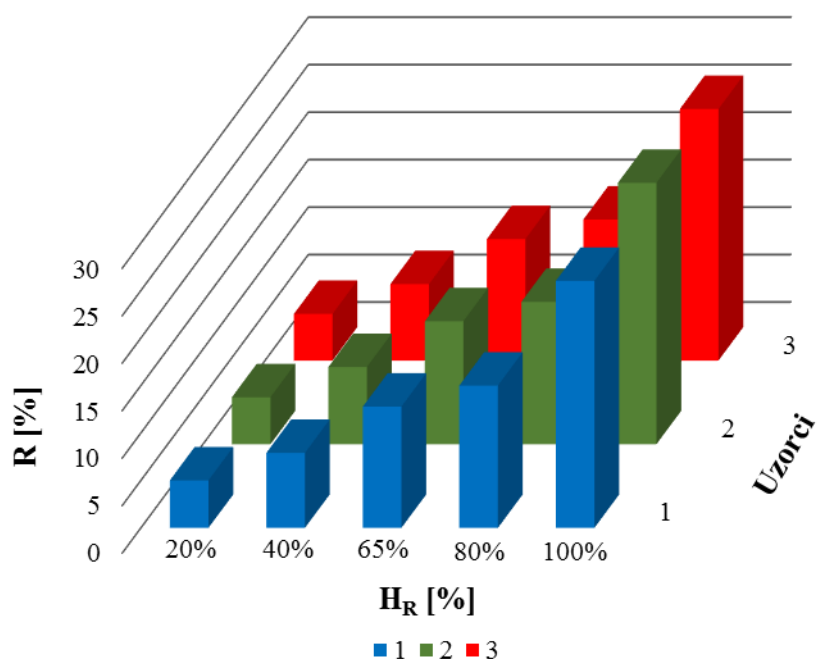
Slika 13: Zastupljenost pojedinih duljinskih grupa u uzorku 3

4.4. Sorpcijska svojstva domaće vune

U tablici 6 i na slici 14 prikazani su rezultati određivanja sorpcijskih svojstava ispitivanih uzoraka vune pri različitim relativnim vlažnostima zraka nakon 48 h.

Tablica 6: Sadržaj vlage u ispitivanim uzorcima pri različitim vlažnostima zraka iskazan kao repriza (1)

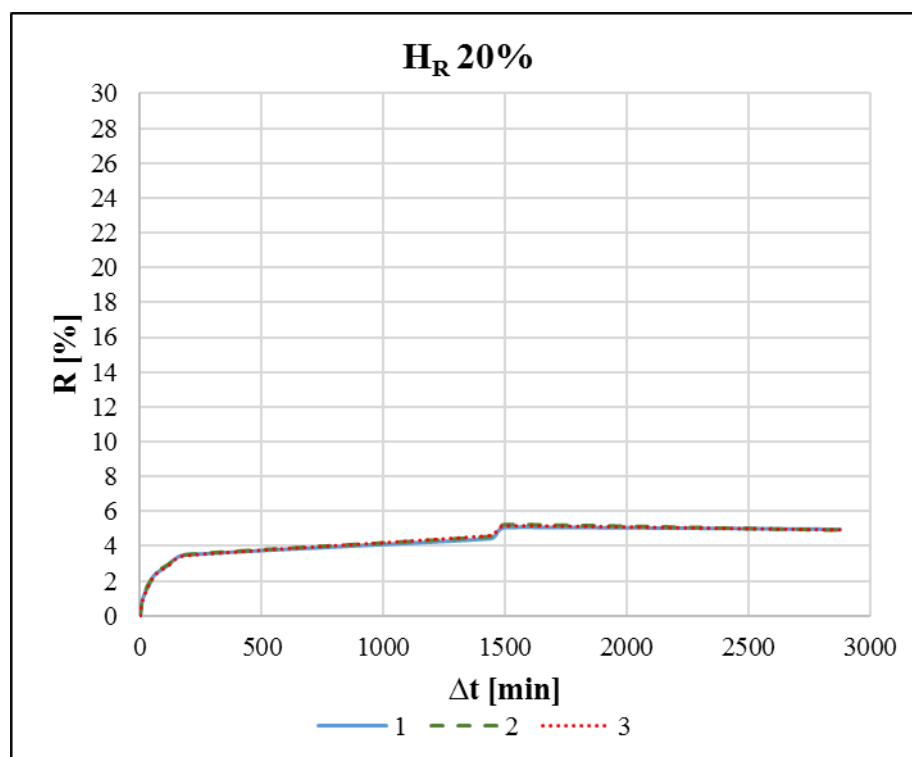
Uzorak		Relativna vlažnost				
		20%	40%	65%	80%	100%
1	R [%]	5,0014	7,8936	12,7697	14,9842	26,0156
	s [%]	0,0797	0,1147	0,1083	0,5396	0,0788
	CV [%]	1,5934	1,4533	0,8482	3,6013	0,3029
	P _{gg} [%]	±0,0902	±0,1298	±0,1226	±0,6106	±0,0892
2	R [%]	4,9457	8,1371	12,9569	14,9902	27,5257
	s [%]	0,1196	0,0385	0,1373	0,1803	0,2043
	CV [%]	2,4179	0,4726	1,0599	1,2031	0,7421
	P _{gg} [%]	±0,1353	±0,0435	±0,1554	±0,2041	±0,2311
3	R [%]	4,9145	8,0521	12,8067	14,8580	26,4987
	s [%]	0,0749	0,0115	0,3681	0,4706	0,3789
	CV [%]	1,5239	0,1429	2,8742	3,1676	1,4298
	P _{gg} [%]	±0,0847	±0,0130	±0,4165	±0,5326	±0,4287



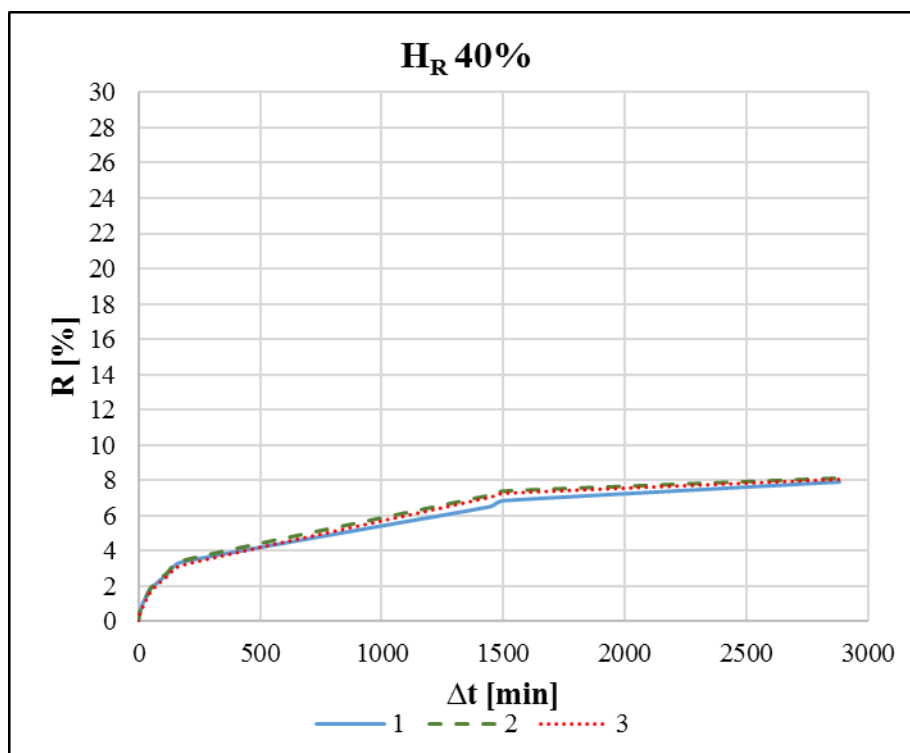
Slika 14: Grafički prikaz sadržaja vlage ispitivanih uzoraka pri različitim vlažnostima zraka

Kod svih uzoraka porastom relativne vlažnosti zraka raste količina vlage u vlaknima. Razlike u količini apsorbirane vlage između pojedinih uzorka su vrlo male i obzirom na statističke pokazatelje varijabilnosti rezultata gotovo neznačajne. Osim toga uočava se trend da grublja vlakna upijaju više vlage od finijih i to kod svih vlažnosti zraka. Iznimka je uzorak 2 pri relativnoj vlažnosti zraka od 20%.

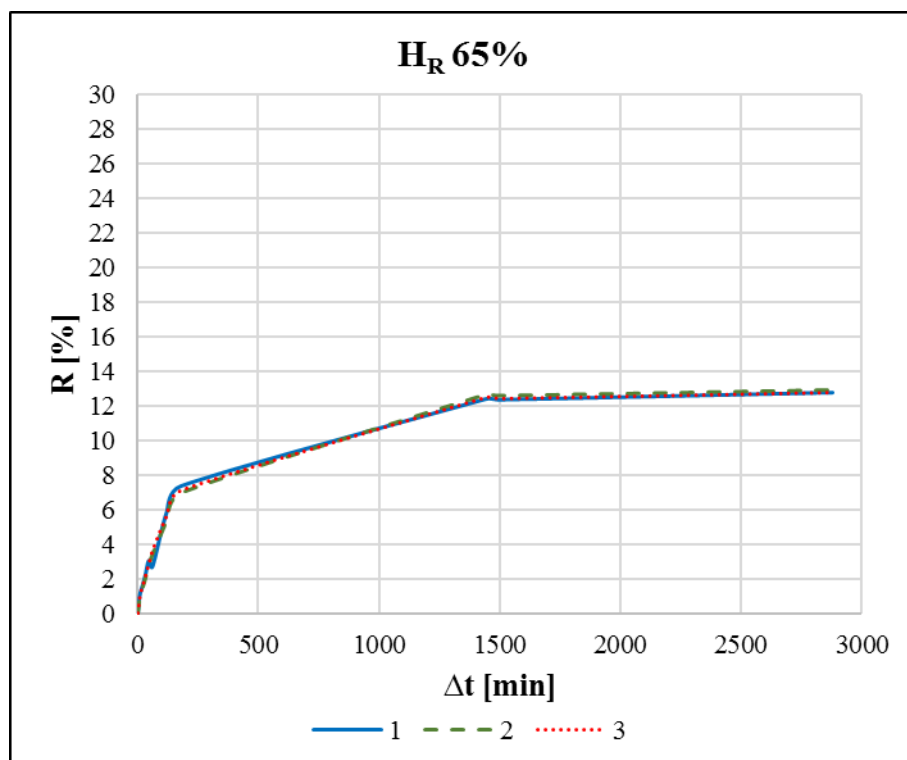
Mjerenjem mase uzoraka nakon određenih vremenskih razmaka tijekom apsorpcije tj. upijanja vlage nastojalo se odrediti da li postoje razlike u brzini apsorpcije pojedinih ispitivanih uzoraka, a rezultati ispitivanja prikazani su izotermama apsorpcije (sl. 15 – 19). Podaci prikazani na navedenim grafovima odnose se na srednje vrijednosti tri paralelne probe.



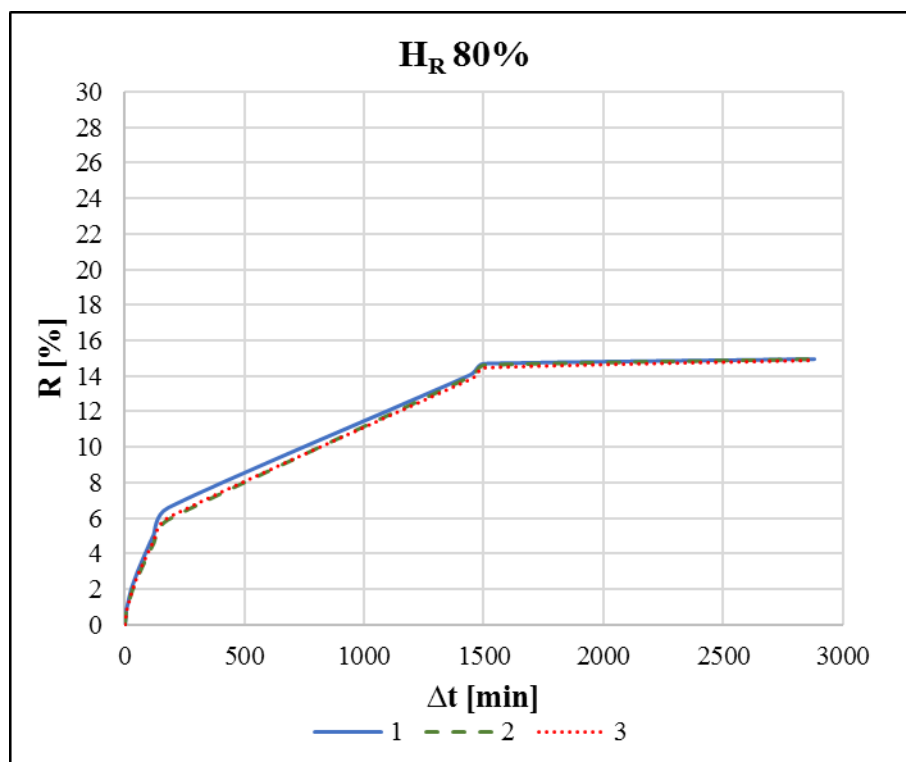
Slika 15: Izoterme apsorpcije pri H_R 20%, $T=24^{\circ}\text{C}$



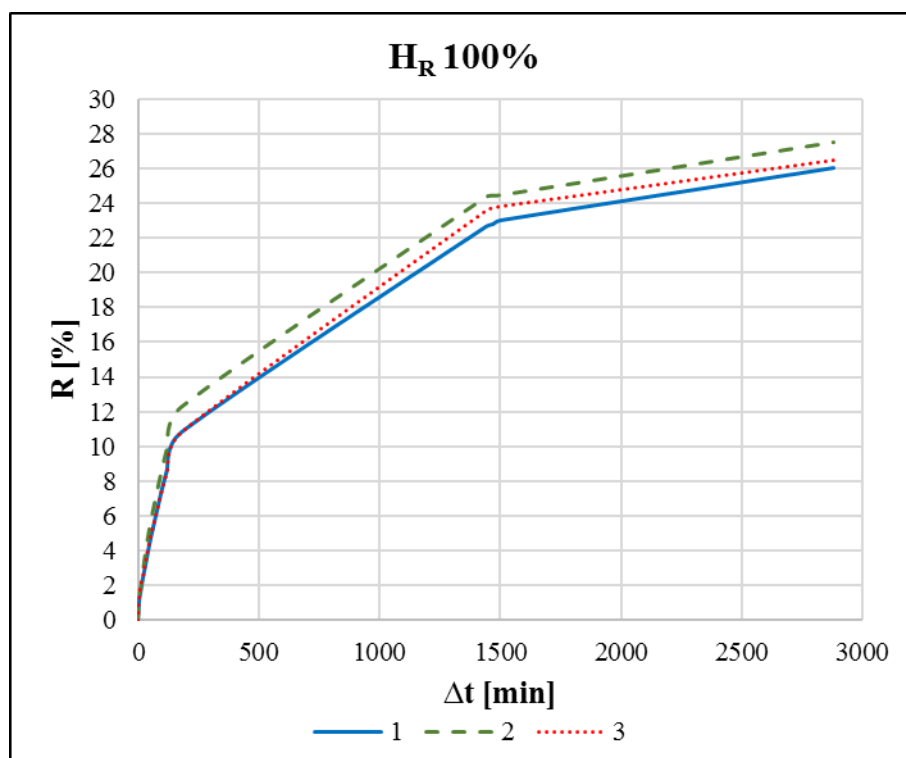
Slika 16: Izoterme apsorpcije pri H_R 40%, $T=24^\circ\text{C}$



Slika 17: Izoterme apsorpcije pri H_R 65%, $T=24^\circ\text{C}$



Slika 18: Izoterme apsorpcije pri H_R 80%, T=25°C



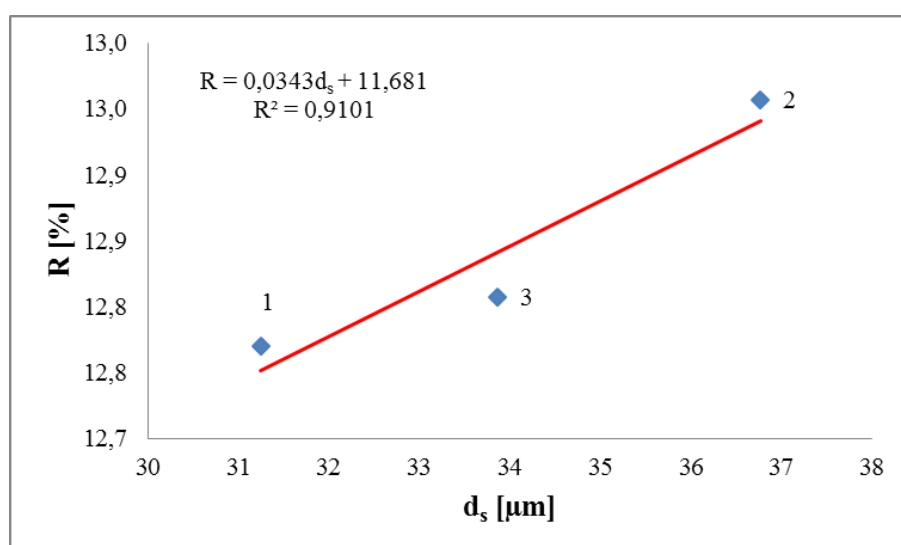
Slika 19: Izoterme apsorpcije pri H_R 100%, T=25°C

Na temelju izoterma apsorpcije (sl. 15 – 19) može se zaključiti da su razlike u brzini apsorpciji pojedinih uzoraka vune vrlo male. Veća razlika u brzini apsorpcije između pojedinih uzoraka vidljiva je jedino kod H_R 100% pri čemu se najveća brzina apsorpcije primjećuje kod uzorka 2 (grublja vuna), a najmanja kod uzorka 1 (finija vuna).

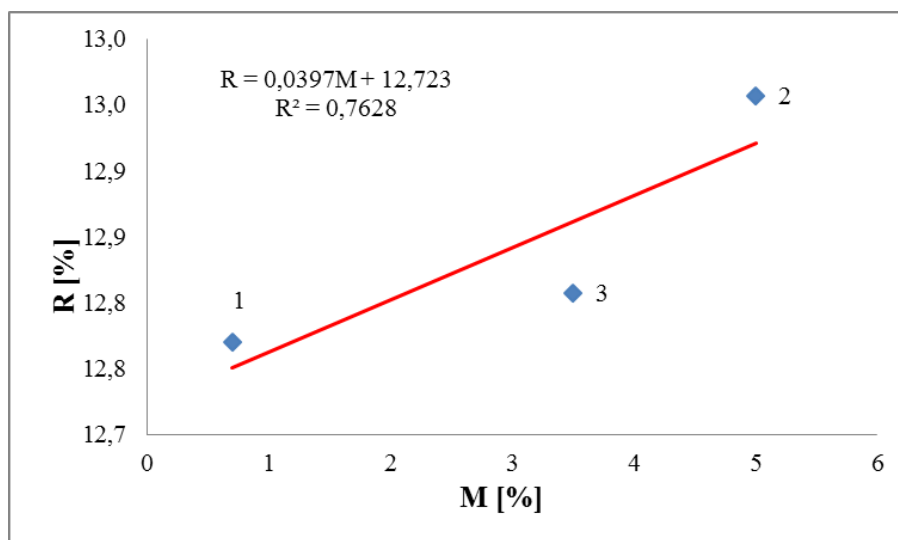
Na temelju rezultata ispitivanja apsorpcijske sposobnosti različitih tipova vune (grublja i finija vlakna) koji su prisutni u uzorku ispitivane domaće vune pramenke može se zaključiti da svi tipovi imaju gotovo istu apsorpcijsku sposobnost. Naime, i za gruba i za fina vlakna kinetika upijanja vlage pokazuje iste zakonitosti dok je količina upijene vlage različita i djelomično ovisna o finoći vlakana. Iako postoje izvjesne razlike u strukturi i morfološkoj građi finih i grubih vlakana (npr. vlakna s medulom ili vlakna bez medule; različit oblik i veličina ljsaka i sl.), u uzorcima ispitivane vune te razlike nisu velike te iz tog razloga ne utječu značajnije na apsorpcijsku sposobnost ispitivanih uzoraka.

4.5. Korelacije dobivenih rezultata

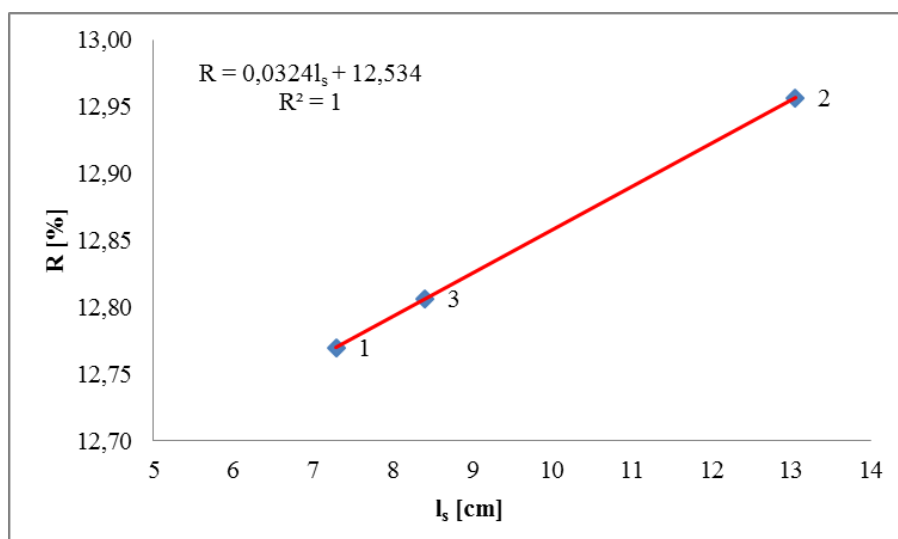
S ciljem određivanja najdominantnije kvalitetne karakteristike vunenog vlakna koja utječe na apsorpciju vlage u vlakno istražene su korelacije pojedinih kvalitetnih karakteristika (finoća; medulacija; duljina) na količinu apsorbirane vlage pri relativnoj vlažnosti zraka od 65% (normalne okolinosti tj. standardna atmosfera za ispitivanje). Iste su prikazane na sl. 20 - 22.



Slika 20: Utjecaj finoće na apsorpciju vlage pri $H_R=65\%$



Slika 21: Utjecaj medulacije na apsorpciju vlage pri $H_R=65\%$



Slika 22: Utjecaj duljine na apsorpciju vlage pri $H_R=65\%$

Iz prikazanih slika (sl. 20 - 22) vidljivo je kako pojedine kvalitetne karakteristike imaju veliki utjecaj na apsorpciju vlage. Najveća korelacija vidljiva je kod ovisnosti reprize o duljini vlakana tj. što je vlakno dulje imati će veću sposobnost upijanja vlage, a razlog je vrlo vjerojatno u većoj specifičnoj površini takvog vlakna.

5. Zaključak

Istraživanja sorpcijskih svojstava vune provedena u ovom radu pokazala su da njezina sposobnost upijanja vlage nije određena samo kemijskom građom već i geometrijom vlakana. Iako uzorci vune koja je razvrstana u tri podskupine (fina/gruba/miješana) nisu pokazivali značajnije razlike u količini apsorbirane vlage ($R[\%]$; tab.6) utvrđena je visoka korelacija između duljine vlakana i količine apsorbirane vlage ($r^2=1$).

6. LITERATURA

- [1] The history of wool fact sheet, dostupno na:
<http://www.wool.ca/uploads/files/PDF/wool-fact-sheets.pdf>, pristupljeno: rujan 2016.
- [2] Mioč B. i sur.: Priprema ovaca za strižu, postupci s vunom do transporta, *Stočarstvo* **60** (2006.) 2, 129-141
- [3] Tuareg nomads, dostupno na:
<http://www.imuhar.eu/site/en/imuhartuareg/clothing.php?lang=EN>, pristupljeno: lipanj 2017.
- [4] Merino For Performance Activewear, dostupno na: <http://nzwool.co.nz/wp-content/uploads/2017/04/MERINO-FOR-PERFORMANCE-ACTIVEWEAR.pdf>, pristupljeno: lipanj, 2017.
- [5] Tuareg nomads, dostupno na: <http://www.everyculture.com/wc/Mauritania-to-Nigeria/Tuareg.html>, pristupljeno: rujan 2016.
- [6] Čunko R., Andrassy M.: Vlakna, Zrinski d.d., Čakovec, 2005.
- [7] Jie F., Jung-Fang L., Ji-Huan H.: Hierarchy of Wool Fibers and Fractal Dimensions, *International Journal of Nonlinear Sciences and Numerical Simulation* **9** (2008) 3, 296-296
- [8] Merino Sheep, dostupno na:
<https://milligansganderhillfarm.wordpress.com/2013/06/06/merino-sheep/>, pristupljeno: rujan 2016.
- [9] Domaća autohtona rasa ovaca, pramenka, u Ustibaru kod Rudog, dostupno na:
<http://www.poljoprivrednik.org/poljoprivrednik/index.php/poljoprivredne teme/stocarstvo/item/535-domaca-autohtona-rasa-ovaca-pramenka-u-ustibaru-kod-rudog>, pristupljeno: rujan 2016.
- [10] Hrvatski savez uzgajivača ovaca i koza: Cigaja, dostupno na: <http://www.ovce-koze.hr/ovcarstvo-kozarstvo/ovcarstvo-i-kozarstvo-u-rh/ovcarstvo-i-kozarstvo-u-rh/pasmine-ovaca/cigaja/>, pristupljeno: rujan 2016.
- [11] Erlač E., Lutkić A., Soljačić I.: Rast, sastav i građa vune, *Tekstil* **45** (1996.) 3, 133-141
- [12] Raffaelli D., Vujasinović E.: Bubrenje keratinskih vlakana u vodi, *Tekstil* **39** (1990.) 9, 515-522

- [13] Kotlińska A., Lipp-Symonowicz B.: Research on the Enzymatic Treatment of Wool Fibres and Changes in Selected Properties of Wool, *Fibers & Textiles in Eastern Europe* **19** (2011) 3, 88-93
- [14] Kozłowski R.M.: Handbook of natural fibres : Volume 2: Processing and applications, Woodhead Publishing, Oxford, 2012
- [15] Rao D.R., Gupta V.B.: Property Structure Correlations in Wool Fibres, *Textile Research Journal* **60** (1991) 10, 609-617
- [16] Vujasinović E.: Prilog istraživanju kvalitete domaćih vuna – finoća i medulacija, Magistrski rad, Tekstilno-tehnološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb 1996.
- [17] Matthews M.: Textile Fibers, John Wiley & Sons Inc., New York 1964
- [18] Cubertson I.: Značenje i primjena objektivnih mjerenja novozelandske vune, *Tekstil* 40 (1991.) 2, 63-67
- [19] Čunko R.: Ispitivanje tekstila, Sveučilište u Zagrebu, Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb, 1995.
- [20] Čunko R., Raffaelli D.: Vlakna, Tehnička enciklopedija, sv. 13, Leksikografski zavod Miroslava Krlež, Zagreb, 1997.
- [21] Brown P.: The Characterisation of Bulk, *Textile Research Journal* **39** (1969) 5, 395-412
- [22] Vujasinović E., Andrassy M.: Istraživanje sposobnosti pustenja grube vune, *Tekstil* **52** (2003.) 6, 678-277
- [23] Kothari V. K.: Thermo-physiological comfort characteristics and blended yarn woven fabrics, *Indian Journal of Fibre & Textile Research* **31** (2006), 177-186
- [24] Morton E.W., Hearle J.W.S.: Physical Properties of Textile Fibres, The Textile Institute Manchester, UK 1997
- [25] Tuzcu T.M.: Hygro-Thermal Properties of Sheep Wool Insulation, Master Thesis, Civil Engineering Faculty Delft University of Technology, Delft, 2007
- [26] Horikita M., Fukuda M, Takaoka A., Kawai H.: Moisture Sorption of Wool and Hair Fibers, **45** (1989) 9
- [27] ASTM D 2130-13 Diameter of wool and other animal fibres by microprojection
- [28] ASTM D 3991-94(2012)e1 Standard Specifications for Fineness of Wool or Mohair and Assignment of Grade
- [29] ASTM D 3992-94(2012)e1 Standard Specifications for Fineness of Wool Top or Mohair Top and Assignment of Grade

- [30] ASTM D 2968-13 Standard Test Method for Med and Kemp Fibers in Wool and Other Animal Fibers by Microprojection
- [31] HRN ISO 6989:2003 Tekstilna vlakna -- Određivanje duljine i distribucije duljina vlasastih vlakana (metodom pojedinačnog mjerenja)